

Ion beam machining process for surface leveling, shaping or shape correction of mechanical, micromechanical, electronic and high quality optical components

Patent number: DE19814760
Publication date: 1999-10-07
Inventor: NICKEL ANDREAS (DE); HAENSEL THOMAS (DE); SCHINDLER AXEL (DE); THOMAS HANS-JUERGEN (DE); BIGL FRIEDER (DE)
Applicant: INST OBERFLAECHEMODIFIZIERUNG (DE)
Classification:
- **International:** **C23F4/00; C23F4/00;** (IPC1-7): C23F4/00; C23C14/34
- **european:** C23F4/00
Application number: DE19981014760 19980402
Priority number(s): DE19981014760 19980402

Report a data error here

Abstract of DE19814760

Ion beam machining of a workpiece comprises cycles of workpiece or ion source rotation and computer-controlled etching which are repeated until the requisite accuracy is achieved. In an ion beam machining process using a rectangular beam cross-section, the workpiece is machined to the requisite accuracy, depending on the target surface, the ion beam parameters and the material properties, by repetitive sequential cycles of workpiece or ion source rotation and ion beam etching by computer-controlled position-dependent translatory movements of fixed or variable distance while effecting velocity variations which are preset or predetermined by simulation.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



19 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 198 14 760 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
C 23 F 4/00
C 23 C 14/34

21 Aktenzeichen: 198 14 760.0
22 Anmeldetag: 2. 4. 98
43 Offenlegungstag: 7. 10. 99

DE 198 14 760 A 1

71 Anmelder:
Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., 04318
Leipzig, DE

72 Erfinder:
Nickel, Andreas, Dipl.-Math., 04109 Leipzig, DE;
Hänsel, Thomas, 04683 Naunhof, DE; Schindler,
Axel, 04668 Großbothen, DE; Thomas,
Hans-Jürgen, Dipl.-Phys., 04349 Leipzig, DE; Bigl,
Frieder, Dipl.-Phys., 04249 Leipzig, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	41 08 404 C2
DE	195 18 185 A1
DE	40 17 614 A1
DD	2 25 451 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Ionenstrahlbearbeitung von Festkörperoberflächen bei rechteckförmigem Strahlquerschnitt

57 Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Ionenstrahlbearbeitung von Festkörpern zu schaffen, welches bei rechteckförmigem Strahlquerschnitt eine Einebnung, Formgebung oder Korrektur der Oberfläche zeitoptimiert unter Vorgabe von Genauigkeitsanforderungen realisiert. Bei den bekannten Blenden- und Feinstrahlverfahren entsteht für eine optimale Bearbeitung mit größer werden den zu bearbeitenden Bauteilen ein Mißverhältnis zwischen Bauteilgröße und dem erreichbaren Abtragsvolumen, welche große Ätzzeiten zur Folge hat. Blendenverfahren benötigen hingegen einen erheblichen technischen Mehraufwand.

Durch den Einsatz des neuen Verfahrens mit entsprechend großen Linearquellen, Breitstrahlquellen oder Clustern von Ionenstrahlquellen wird dieser Nachteil vermieden und gleichzeitig die Belastung des Materials durch sehr hohe Stromdichten verkleinert.

Erfindungsgemäß beinhaltet das Verfahren zur Ionenstrahlbearbeitung von Festkörperoberflächen das Ätzen im Sputterprozeß oder als reaktives Ionenstrahlätzen, wobei die Ionenstrahlquelle (bzw. das Werkstück) unter einen in der Werkstückoberfläche (bzw. Gitterebene der Quelle) liegenden vorzugebenden Anfangswinkel mit translatorischer Bewegung unter Geschwindigkeitsvariation in Abhängigkeit von der Position, Ionenstrahlparameter und Materialeigenschaften in einem bestimmten festen oder variablen Abstand über das Werkstück (bzw. die Ionenstrahlquelle) rechnergesteuert bewegt wird. Zusätzlich kann der Ionenstrahl durch mindestens ...

198 14 760 A 1

Beschreibung

Anwendungsgebiet

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren entsprechend dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Das Verfahren kann zur Oberflächenbearbeitung von Festkörpern, wie zum Beispiel mechanischer, mikromechanischer oder elektronischer Komponenten und Bauteilen angewendet werden. Es ist besonders ein Verfahren zur Bearbeitung und Herstellung von optischen Komponenten wie Prismen, Spiegel, Linsen und Funktionsflächen wie Parabel- und Fokusflächen mit höheren Qualitätsanforderungen.

10

Stand der Technik

Es ist bekannt, daß die Ionenstrahlbearbeitung von Festkörperoberflächen eine Einebnung und Formgebung ermöglicht.

15 Im Patent DE 41 08 404 C2 ist ein Ionenstrahlbearbeitungsverfahren von Festkörperoberflächen unter Nutzung einer Breitstrahlionenquelle beschrieben. Die örtliche Variation der Abtragsfunktion wird dabei durch mindestens 3 voneinander unabhängig fahrbarer Blenden erreicht.

Feinstrahlverfahren werden in US-PS 35 48 189 und US-PS 36 99 334 genannt, bei denen die Oberflächenbearbeitung durch Ablenkung eines wenige Millimeter breiten Strahles positiver Ionen unter Variation der Stromdichte realisiert wird.

20

Auch im SU-PS 8 34 800 ist ein Bearbeitungsverfahren mittels Ionenstrahlen unter Verwendung einer Iris-Blende mit Bewegungssystem dargestellt. Über die Strategie zur Steuerung der Blende und des Bewegungssystems wird dabei nichts ausgesagt.

Weiterhin sind Ionenstrahlbearbeitungsverfahren unter Verwendung von Löchermasken (DD 295 946 A5) bekannt. Die örtliche Variation der Stromdichte wird dabei durch unterschiedliche Anordnung und Größe der Löcher erreicht. Diese Lochmaskentechnik besitzt den Nachteil, daß für die Korrektur von Einzelflächen jeweils eine spezielle Maske angefertigt werden muß.

25

Nachteile des Standes der Technik

30

Bei den oben genannten Blenden- und Feinstrahlverfahren entsteht für eine optimale Bearbeitung mit größer werden zu bearbeitenden Bauteilen ein Mißverhältnis zwischen Bauteilgröße und dem erreichbaren Abtragsvolumen, welches große Ätzzeiten zur Folge hat. Da bezüglich eines hohen Abtrags der Strahldurchmesser möglichst groß gewählt werden sollte, verringert sich gleichzeitig der maximal noch abtragbare Gradient der Topologie und damit die erreichbare

35

Endgenauigkeit. Eine Erhöhung der Stromdichte führt zu erheblichen Materialbelastungen, die die Anwendbarkeit der Verfahren einschränken. Blendenverfahren benötigen hingegen einen erheblichen technischen Mehraufwand.

Die Maskenverfahren können bei großen Bauteilen im allgemeinen nicht eingesetzt werden, da insbesondere bei hohen Transparenzen Stabilitätsprobleme der Masken entstehen.

40

Aufgabe der Erfindung

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Ionenstrahlbearbeitung von Festkörpern zu entwickeln, welches bei rechteckförmigem Strahlquerschnitt eine Einebnung und Formgebung der Oberfläche zeitoptimiert unter Vorgabe von

45

Genauigkeitsanforderungen realisiert.

Lösung der Aufgabe

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren zur Ionenstrahlbearbeitung von Festkörperoberflächen gelöst, wobei Ionenstrahlquelle (bzw. Werkstück) unter einem in der Werkstückoberfläche (bzw. Gitterebene der Quelle) liegenden vorzugebenden Anfangswinkel mit translatorischer Bewegung unter Geschwindigkeitsvariation in Abhängigkeit von Position, Ionenstrahlparametern und Materialeigenschaften in einem bestimmten Abstand über das Werkstück (bzw. die Ionenstrahlquelle) rechnergesteuert bewegt wird und so die Oberfläche ätzt. Zusätzlich kann der Ionenstrahl durch mindestens zwei bewegbare Blenden rechnergesteuert ortsabhängig ausgeblendet werden. In Abhängigkeit von der

55

entstandenen Werkstückoberfläche wird nun die Ionenstrahlquelle (bzw. das Werkstück) gegenüber dem Werkstück (bzw. der Quelle) um einen bestimmten Winkel gedreht und anschließend wieder mit ortsabhängiger Geschwindigkeitsvariation bei einer Translationsbewegung mit oder ohne Blendenbewegung geätzt. Der Zyklus – Drehung und Ätzung bei Translationsbewegung mit oder ohne Blendenbewegung – ist nun so lange zu wiederholen, bis die Genauigkeitsanforderungen z. B. Peak to Valley-Wert (PV) oder Root Mean Square-Wert (RMS) erfüllt sind. Die Berechnung der ortsabhängigen Geschwindigkeitsvariation und gegebenenfalls der Blendenbewegung kann durch ein Simulationsprogramm vor oder während der Bearbeitung in folgenden Schritten erfolgen:

60

– Ermittlung der mittleren Höhenverteilung in der aktuellen oder zu bestimmenden Translationsrichtung und gegebenenfalls Auswahl der Richtung,

65

– Berechnung der Geschwindigkeitsvariation in Abhängigkeit von Position, Zieloberfläche, Strahlprofil und den Materialeigenschaften ohne Blenden oder für eine feste Blendenanordnung durch Entfaltungsoption, – Variation der ortsabhängigen Blendenposition mit Korrektur der Geschwindigkeitsverteilung, bis die Zielforderungen an Genauigkeit und Ätzzeit für einen Ätzschritt erfüllt sind,

- Berechnung der neuen Oberfläche und Wiederholung der Schrittfolge für den nächsten Drehwinkel, bis die gewünschte Endgenauigkeit erreicht ist.

Vorteile der Erfindung

5

Das Verfahren ermöglicht den Einsatz von Linear- und Breitstrahlquellen sowie Clustern von Ionenstrahlquellen zur Einebnung und Formgebung von Festkörperoberflächen mit Vorgabe der Genauigkeitsanforderungen. Insbesondere tritt dabei im Vergleich mit anderen Verfahren eine Reduzierung der Bearbeitungszeit bei gleichzeitigem geringen Hardwareaufwand auf. Gegenüber den Feinstrahlmethoden ist außerdem die Belastung des Materials durch sehr hohe Stromdichten geringer und somit die Anwendbarkeit vergrößert.

10

Ausführungsbeispiele

Die Ausführungsbeispiele der Erfindung beziehen sich einerseits auf die Formgebung und andererseits auf die Einebnung von Festkörperoberflächen.

15

Beispiel 1

Einebnung – Ätzung eines vorgegebenen und ausgemessenen Planares

20

Die Oberfläche eines Planares mit einem PV-Wert von 500 nm ist einzuebnen, so daß die bearbeitete Oberfläche die Genauigkeitsanforderung – PV-Wert kleiner gleich 75 nm – erfüllt.

Die Ätzanlage ist so aufgebaut, daß das Werkstück an einem computergesteuerten Lineartisch befestigt ist, welcher die Translationsbewegung ausführt. Die Linearquelle ist drehbar angebracht und ätzt mit computergesteuerter Blendenabschattung von unten die Oberfläche. Diese Anordnung ist in der **Abb. 1** dargestellt.

25

Verfahrensschritte

1a: Drehung der Quelle um den Winkel α_1 , so daß der PV-Wert des mittleren Höhenprofils in Translationsrichtung maximal wird

30

1b: Durchführung der Ätzung mit der aus dem mittleren Höhenprofil, dem Strahlprofil der Quelle und den Materialeigenschaften berechneten Geschwindigkeitsvariation der Translationsbewegung und der Blendenbewegung

2a: Drehung der Quelle um den Winkel α_2 , so daß der PV-Wert des mittleren aktuellen Höhenprofils in Translationsrichtung maximal wird

35

2b: Durchführung der Ätzung mit der aus dem mittleren aktuellen Höhenprofil, dem Strahlprofil der Quelle und den Materialeigenschaften berechneten Geschwindigkeitsvariation der Translationsbewegung und der Blendenbewegung.

Die Verfahrensschritte 2a und 2b sind für die entsprechenden Drehwinkel α_i und die neu zu berechnenden Geschwindigkeitsvariationen und Blendenbewegungen zu wiederholen, bis die Genauigkeitsforderung erfüllt ist.

40

Beispiel 2

Formgebung – Ätzung einer vorgegebenen Topologie

Ein Focus ($z = ar^2$, Höhenwert z für den Radius r , a konstant) ist in eine Festkörperoberfläche mit einem maximalen Fehler von 5% zu ätzen. Mittels Simulationsprogramm auf einem PC (Pentium 200 MHz) wurden für fest vorgegebene Drehwinkel die dazugehörigen Geschwindigkeitsvariationen der Translationsbewegung in Abhängigkeit vom Strahlprofil der Quelle und von den Materialeigenschaften berechnet.

45

Die Ionenquelle ist an einem computergesteuerten Lineartisch befestigt und ätzt von oben das Werkstück, welches auf einem Rotationssystem angebracht ist. **Abb. 2** verdeutlicht diese Anordnung.

50

Verfahrensschritte

1a: Drehwinkel $\alpha_1 = 0$ Grad

1b: Ätzung bei Translationsbewegung der Quelle mit der vorab berechneten Geschwindigkeitsvariation;

55

2a: Drehwinkel $\alpha_1 = 90$ Grad

2b: Ätzung bei Translationsbewegung der Quelle mit der dazugehörigen Geschwindigkeitsvariation;

3a: Drehwinkel $\alpha_1 = 45$ Grad

3b: Ätzung bei Translationsbewegung der Quelle mit der dazugehörigen Geschwindigkeitsvariation.

Durchführung weiterer mit dem Simulationsprogramm für die verschiedenen Drehwinkel berechneten Verfahrensschritte, bis die Genauigkeitsanforderung erreicht wird.

60

Patentansprüche

1. Verfahren der Ionenstrahlbearbeitung bei rechteckförmigem Strahlquerschnitt mit dem Ziel der Einebnung, Formgebung oder Formkorrektur von Festkörperoberflächen, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Werkstück in Abhängigkeit von der Zieloberfläche, den Ionenstrahlparametern und den Materialeigenschaften in einem sich wiederholenden sequentiellen Zyklus von Drehung des Werkstücks gegenüber der Quelle oder umgekehrt und Ätzung

65

durch die Ionenstrahlen der Quelle bei computergesteuerter ortsabhängiger Translationsbewegung unter vorgegebener oder per Simulationsrechnung bestimmter Geschwindigkeitsvariation mit einem festen oder variablen Abstand solange bearbeitet wird, bis die geforderte Genauigkeit erreicht ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Ätzverfahren sowohl ein Sputterprozess als auch das reaktive Ionenstrahlätzen verwendet werden kann.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Ätzung Ionenstrahlquellen mit geeigneter Stromdichtevertelung, wie Linearquellen, Breitstrahlquellen und Cluster von Quellen benutzt werden können.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionenstrahl durch ein aus mindestens zwei beweglicher Blenden bestehendes Blendensystem beeinflußt werden kann, welches gegebenenfalls ein computergesteuertes mit der Translationsbewegung koordiniertes Bewegen der Blenden ermöglicht.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehwinkel der Bearbeitungsfolge so bestimmt oder/und benutzt werden, daß die mittleren Profile in Translationsrichtung einen maximalen PV-Wert oder einen maximalen RMS-Wert bzw. einen minimalen Oberflächengütekennwert aufweisen.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die Ätzung und/oder Berechnung der ortsabhängigen Geschwindigkeitsvariation eine der folgenden Winkelfolgen $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots$ benutzt wird:

α_0	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	...	α_{15}	α_{16}	α_{17}	...
α	90	90 \pm 90/2	α_1	90 \pm 90/4	α_1	α_2	α_3	90 \pm 90/8	α_1	...	α_7	90 \pm 90/16	α_1	...

Die Drehwinkel α_i in Grad stellen dabei die Differenzwinkel zur vorhergehenden Position dar. Der Startdrehwinkel $\alpha_0 = \alpha$ kann dabei beliebig gewählt werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Abbildungen

BEST AVAILABLE COPY

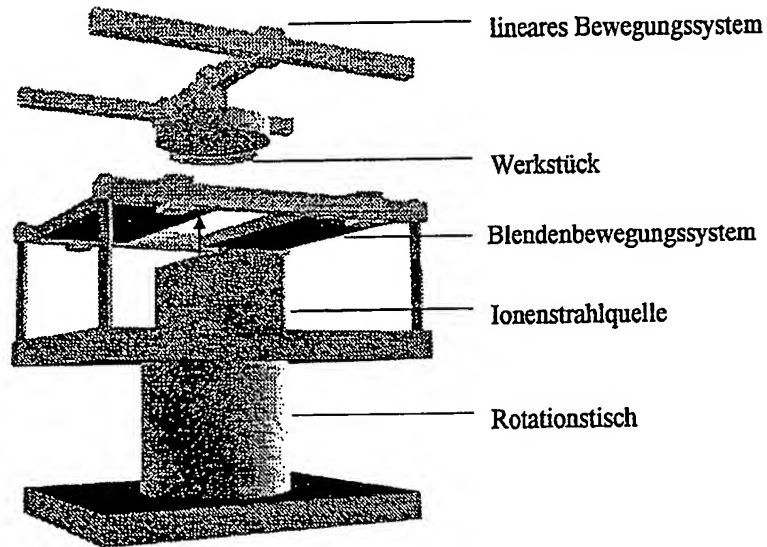


Fig. 1: Anlagenaufbau zum Ausführungsbeispiel 1

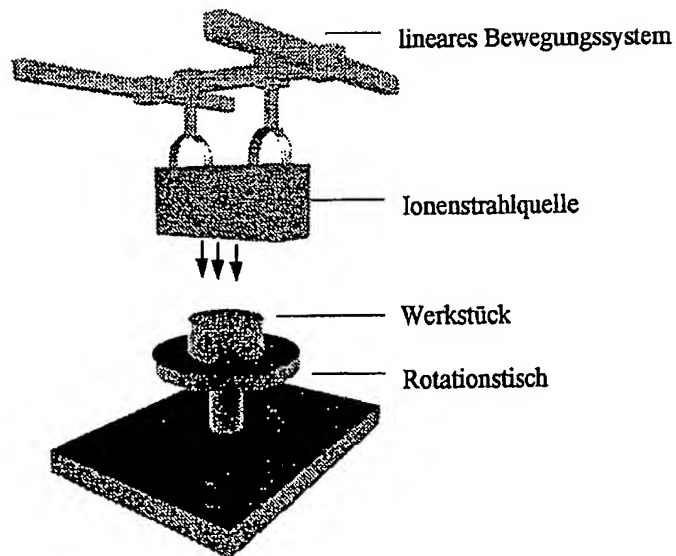


Fig. 2: Anlagenaufbau zum Ausführungsbeispiel 2